

高压旋喷桩技术在市政工程中的应用

黄恺

青岛崂山湾国际生态健康城开发有限公司

摘要：市政工程在投入使用的环节，会受到多种荷载的影响，比如车辆行驶后，在人员和在自然灾害等长期发展之下，市政道路软基处理技术水平日益提升，已经成为当前道路工程建设的重要技术之一。在道路工程建设施工的环节，为保证工程达到稳定、安全的效果，延长使用寿命，需要加强软基处理技术的应用。高压旋喷桩是一种高压喷射技术发展所形成的地基加固方式，能够有效的改善土体结构应力状态，促进地基结构承载力性能的全面提升，满足道路的运行需要。本文主分析高压旋喷桩技术在市政工程中的应用，以提高施工质量水平，满足当前市政工程的使用要求。

关键词：化学加固技术；高压旋喷桩法；软基处理；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.23.038

我国的地域面积广阔，各个城市的地基结构条件有着很大的差异，尤其是很多地质条件恶劣的区域，必须采取科学合理的地基处理技术，才能保证地基处理效果合格，满足当前的工程运行要求。高压旋喷桩是一种非常常见的软土地基处理方式，将原有的土体结构进行切割破坏，再使用浆液和土体颗粒材料充分搅拌，形成固结体，实现土体结构的加固处理，达到止水、防渗、基坑支护等方面的作用，应用到市政道路工程建设的过程中，具备更高的安全性和稳定性。

在高压旋喷桩施工技术中，化学加固技术是比较常见的一种软土地基加固技术，其应用价值非常高，主要是通过喷射混凝土、泥浆、灰浆等混合材料实现土体结构的加固处理，确保地面结构具备较高的承载力和稳定性，是道路工程建设环节重要措施。应用化学加固技术进行高压旋喷桩施工，能够解决软土地基强度不足的问题，使其具备较高的抗压性、抗滑性和抗剪性。因此，深入研究化学加固技术，发挥出高压旋喷桩技术在市政工程中的作用，进而全面提升施工质量水平，满足当前的市政道路工程建设需要。

一、高压旋喷桩法的机理及效应

高压旋喷桩是一种化学加固技术，其主要的工作原理是利用高压喷射水泥浆的方式，将水泥浆料和周围土体充分混合，形成整体结构，具备较高的强度和稳定性。该技术在应用环节，水泥浆液利用高压喷射设备直接喷入到地基结构内，形成硬化土体，实现两者有效的结合，密度和强度得到全面提高，还能够弥补地基的土体空隙，具备较高的运行稳定性。目前高压旋喷桩施工技术广泛应用到工程领域之内，对于地基结构的加固施工效果提升产生重要的作用。与此同时，该方法应用在各种不同的地质条件类型，比如河岸、山坡、沙漠等都能够发挥出应有的作用，且现场施工具备较高的灵活性，根据不同的施工现场实际情况作出调整，使得软土

地基的加固施工效果达到要求。高压旋喷桩施工过程比较简单，将水泥浆料和水充分混合之后，然后通过喷射枪直接进行喷射作业，施工环节利用自动计量装置对喷洒的作业量和速度加强控制，以提高施工的效率。与以往的地基处理方式对比来说，高压旋喷桩技术不需要进行挖土和清运作业，能够避免对现场自然环境造成负面影响，同时具备较高的节能性。就目前来说，高压旋喷桩施工技术的加固效果非常好，能够使得软土地基的加固质量达到要求，并且具备一定的防渗性作用，满足当前的市政道路工程建设标准。

二、市政工程中高压旋喷桩技术类型与适用情况

(一) 高压旋喷桩技术类型

根据不同的喷射方法，高压旋喷桩主要包含下述几种：

(1) 单管法：该方法最初在20世纪的70年代开始使用，通过高压浆液直接冲击岩土体的结构，利用注浆管的提升、旋转等作用，实现土体的充分搅拌，形成符合要求的固结体。分析浆液的特性，如果压力过高而产生结构损坏，所以单管法的作业压力在20—30MPa之间，从而达到施工效果要求。

(2) 双重管法：该方法应用双重注浆管进行施工，同时喷射高压浆液与压缩空气，能够减缓喷射动压造成的衰减，提高桩体结构的性能。根据实际要求，双重管法组合成为的固结体直径在0.5—1.9m之间，要超过单管法。

(3) 三重管法：该方法要比双重管法多一根喷水管，喷射浆液、压缩空气的环节，同时喷射高压水，实现土体的切割处理。在现场施工中，容易发生堵管的情况，需要适当的增大压力参数，实现切割范围的扩大。经过目前实际经验分析，三重管法的固结体直径达到0.9—2.5m。

(4) 多孔管法：该方法和三重管法基本相同，通过高压水、高压浆液、压缩空气实现施工，其差异如下：①钻杆没有设置速凝剂的注入入口，调节速凝剂的量，控制浆液时间；②喷嘴不设置压力传感器，随时进行喷射参数调节，达到最佳效果，直径通常为2.0—4.0m之间。

(二) 高压旋喷桩技术适用情况

(1) 适用土质条件：绝大部分的软弱土层中都能够使用，如果在土体结构内存在大量的石块、植物根茎、有机质等，会导致喷射流切割作用受到影响，所以需要现场试验的方式确定其适用性。对于现场存在的碎石或者砾石体积较大的情况之下，高压喷射流无法进行切割处理，起到填充颗粒之间的作用，与渗透注浆的方法比较类似。此外，对于没有填充物的岩溶地段、水泥严重腐蚀的地基或者地下水流速过大的情况之下，不能使用高压旋喷桩技术进行处理。

(2) 工程适用范围。除了地基加固效果达到要求之外，高压旋喷桩技术还具备施工便利、造成小、成本低等优势，所以使用范围非常的广泛，能够满足多种条件下的道路工程建设需要。

三、工程概况

某市政道路工程项目建设长度5.4km左右，设计时速50km/h，红线宽度42~62m，人工填筑厚度为2.6~7.5m，测定的混合稳定水位深度为0~19.4m，相应的高程是49.99~111.99m。人工填土层是在原有的土壤层结构上经填充处理，满足建筑、交通等方面的建设和运行需要，该结构形式的主体性质和密实度有着一定的差异，水文温条件也会给人们的日常生活造成一定的影响。经过对现场地质勘察发现，整个施工现场区域内的地下水含量相对较多，这个结构层的厚度不同，主要是以层状形式存在，对于建筑、公路等项目建设来说，加强该结构的关注，提升结构的承载力和稳定性，才能满足现场建设的标准。基于此，在现场进行勘察作业的环节，要随时关注该土层结构的稳定性和承载力，采取必要的处理措施，防止造成严重的地质灾害。本次工程项目选择其中一个标段进行分析，需要使用的高压旋喷桩数量为10根，桩体直径60cm，水平间距1.0m，单根设计长度为9m。

四、高压旋喷桩在实际施工中的应用

化学加工技术主要是通过化学反应的原理、物料特性等方面进行物理性质的改变，使得土体结构具备较高的强度和稳定性，是目前比较常见的一种软土地基处理技术。化学加固技术应用在低强度的软土、淤泥、黄土等地质条件较差的区域有着良好的效果，使得地基结构的抗压、抗拉、抗冻等性能都达到工程的标准。

(一) 技术参数

高压旋喷桩施工技术采用二重管法，主要参数见表1。

表1 技术参数

| 序号 | 项目 | 单位 | 参数值 |
|----|-----------|--------------|-----------------|
| | 气压 | MPa | 0.7 |
| 1 | 压缩空气气量液压 | L/min MPa | 2000~3000 20~40 |
| 2 | 水泥浆 流量水灰比 | L/min / | 30~50 1: 1 |
| 3 | 喷杆提升速度 | m/min | 0.1~0.2 |
| 4 | 喷杆旋转速度 | r/min | 20 |
| 5 | 喷嘴直径 | mm | Φ2.2 |

(二) 施工材料及机械设备

灌浆材料主要为P·042.5R普通硅酸盐水泥，材料及机械设备见表2、表3。

表2 主要施工材料

| 序号 | 材料名称 | 材料用量 / (kg/m) | 数量 /t | 备注 |
|----|-------------------|---------------|-------|---------------|
| 1 | P·0 42.5R 普通硅酸盐水泥 | 300 | 27 | 水灰比 1: 1 |
| 2 | 膨润土 (10%) | 30 | 2.7 | 增强固结体的可塑性和防渗性 |

表3 主要机械设备

| 设备名称 | 型号 / 规格 | 数量 | 备注 |
|-------|----------|-----|----------|
| 高压泥浆泵 | SNS-H300 | 3 台 | |
| 钻机 | NTQZ-50B | 3 台 | 轻便型液压钻机 |
| 空气压缩机 | W1.6/10 | 3 台 | |
| 泥浆搅拌罐 | GSJB-40 | 3 台 | |
| 全站仪 | FTS512R | 2台 | |
| 水准仪 | DS3 | 2台 | |
| 叉车 | ES08-WAi | 2 辆 | |
| 液罐车 | 东风 | 2 辆 | 密封运输污泥沉渣 |

(三) 工艺流程

二重管法主要是通过双注浆管同时向水平方向进行高压喷射作业，形成高压水泥浆，和空气射流施工环节，需要先进行分排孔的注浆施工。

(四) 施工方法

1. 准备工作

(1) 明确钻孔的位置以及尺寸，选择合适的注浆施工方案。

(2) 结合现场的要求，选择合适的工具、设备、材料等，并加强各个方面资源的性能检测，符合要求之后才能投入使用。

(3) 对钻机和注浆设备的条件、性能进行检查，明确二重管注浆施工的要求，并对开孔以及连接的效果

进行全面检查。

2. 钻机定位

执行设计方案的要求，进行注浆孔配置的设置，明确设备、钻机、井筒部位，并根据地层条件选择合适的钻头。在钻孔周边区域内清理一个平整的场地，并将钻机和注浆设备安装到位。

3. 制备水泥浆

准备洁净的水资源，根据所选用的水泥品种以及价格，在混凝土搅拌站内通过罐车运输到施工作业现场，或者在现场钻孔上部设计水泥浆池，通过搅拌机将水泥和水按照比例充分的混合，制作出符合要求的高压泥浆。在水泥浆制作的环节，按照规定的比例要求进行现场操作，确保浆液混合均匀，坍落度达到标准。

4. 钻孔

钻机根据钻孔位置以及井深等选择合适的钻头开始进行钻孔施工作业，按照既定的工艺方案要求，钻机应保证钻孔的直径、倾角、孔深等都符合要求，孔壁达到平整的标准，不会存在断层等严重的质量问题。

5. 插管

在对现场的地层条件充分了解之后，插入双管钢管，如果测定的孔深和实际孔深存在较大的差异，或者孔内存在岩石碎屑的情况，需要检查地层条件，并调整注浆方案。插好管道之后进行管子的定位和调整，确保位置、密封以及连通的效果合格。

6. 高压喷射注浆

根据要求安装好注浆设备，首先进行分排孔的注浆施工。先进行第一排注浆孔的注浆作业，然后按照顺序进行排孔的注浆施工。注浆开始之前，先使用低压水泥浆进行填充处理，然后使用二次喷射法，利用低压气体将注浆浆液直接压入到孔内，再进行高压喷射注浆作业，直到孔口表面流出浆液，并且有一定的压力，确保注浆施工效果合格。注浆操作环节，保证注浆的流量和压力达到要求，并且管子和孔洞的密封性、连通性都符合标准。现场施工阶段，按照注浆方案操作，加强各项参数的分析，确保工程的质量和达到要求。

7. 桩头部分处理

在现场注浆施工的过程中，加强浆液的深度、浸润度方面的控制。对于桩头部位的注浆，要采取特殊的处理措施。对于需要进行底座桩体结构的浇筑施工来说，首先使用高压注浆修补底座部位，并且合理进行底座的浇筑作业。

8. 充填回灌

在现场注浆工作完成之后，将孔内的空间进行充分的回灌处理，在该环节要加强材料的控制，防止影响施工的效果。

9. 清洗

注浆工作完成之后，对注浆设备以及双层管进行清理和维护，清洗之前要保证管道内部的水泥浆全面清理干净，防止发生管子堵塞的现象，否则将会给后续的施工带来不利的影响。在清洗环节要注意管道和孔洞的密封性、连通性合格，避免出现泄漏或者污染的问题。

(五) 施工质量检验

在现场施工环节，要及时记录各项技术参数和注浆的具体情况，并加强施工质量和安全性的监督管理。在施工结束之后，对施工质量以及工程性能进行检验和评估，确保其达到设计要求和标准，检验结果符合工作标准要求之后才能投入使用。经过本次检验结果分析发现，两根桩的成桩质量以及节水效果达到设计标准。

(六) 施工注意要点

(1) 在高压注浆作业的环节，预充是非常重要的步骤之一。该工作就说明正式注入浆液之前需要使用清水等物质，将管道以及孔洞内的空气、杂质全部清理干净，确保注入的浆液能够充分地渗入孔洞之内。如果不进行预充操作，会造成浆液无法精准寻找到正确的位置，也不能渗透进去，对于整个施工效果大负面影响。

(2) 现场注浆操作开始之前，对双层钢管进行全面检查和监测，确保其完整性和位置精度合格。如果双层钢管不完整，或者安装位置精度不达标，注浆浆液流失或者不均匀，造成工程质量无法达到标准。

(3) 在高压喷射注浆的过程中，要加强浆液的流量、压力方面的控制，严格执行设计方案和技术标准。同时要对管子和孔洞的密封性、连通性进行检查，确保注浆的施工质量达到标准。

(4) 桩头部位的注浆是关键性的步骤，由于桩头结构要求较高，为了保证桩体结构的强度和完整性，需

要加强浆液的深度、浸润度方面的控制，确保桩头部位注浆填充效果合格，弥补原有结构的缺陷问题，促进装机结构的稳定性和安全性提升。

(5) 在现场施工作业阶段，及时记录各项技术参数和现场注浆的具体情况，加强质量和安全性的监督管理，并且在施工结束之后对施工质量和工程性能进行检验评估，确保工程质量达到设计方案要求。

五、质量控制要点

现场施工环节全面落实各项技术参数管控，并且对于整体结构的性能进行综合性的评估分析，了解是否存在质量缺陷问题。在质量监督检测环节，加强细节方面的控制，避免造成严重的质量缺陷问题。第一，预先检查设备和工具，确保正常运行，达到可靠性的要求。第二，加强现场注浆质量的检测，确保压力、浆液的均匀性都符合要求，并进行设备的维护和保养。第三，将现场施工记录各项参数进行汇总，及时发现质量缺陷，并采取有力的应对措施。第四，加强施工人员的专业技能培训，让其掌握关键技术，确保现场施工作业顺利的完成。第五，全面落实各项安全管理措施，制定应急预案，保证现场施工作业达到安全性的标准，不会造成人员伤亡事故。第六，对现场的施工质量以及工程效果进行合理的评估和验收，并且做好各项数据记录工作，为后续的维护和管理提供基础。

六、结语

在市政工程项目建设的进程中，软土地基是比较常见的地基结构形式，极大的威胁工程运行的安全性和稳定性，所以必须采取科学合理的处理措施，才能保证施工效果合格。就目前来说，化学加固方法应用非常常见，发挥出高压旋喷桩技术的优势，确保市政工程的软土地基加固效果合格，具备较高的可靠性、稳定性和安全性，提高市政工程运行的总体效果，带动我国工程领域的全面建设发展。

参考文献

- [1] 王俊华, 徐铜鑫. 高压旋喷桩试桩专项施工方案[J]. 科技资讯, 2023, 21(4): 56-59.
- [2] 鲍凯, 吕亮, 高辛财, 等. 卵石地层暗挖车站超高压旋喷注浆止水应用研究[J]. 都市轨道交通, 2023, 36(3): 124-130.
- [3] 段玉三. 灌注桩和局部高压旋喷桩组合止水帷幕在顶管中的应用[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(8): 135-137.
- [4] 梁国源. 论市政工程施工建设中软土地基施工技术的应用[J]. 城市情报, 2023(14): 208-210.
- [5] 杨乐. 高压旋喷桩技术在市政工程中的应用[J]. 中国高科技, 2022(11): 139-141.
- [6] 许丽忠. 浅谈市政工程基坑施工中高压旋喷桩的应用[J]. 散装水泥, 2022(4): 117-119.
- [7] 朴健. 钻孔灌注桩结合高压旋喷桩隔水帷幕在深基坑支护止水工程中的应用[J]. 工程建设与设计, 2022(1): 142-146.